





数値天気予報の基礎 特に物理過程

**平成26年神戸大学特別講義
地球および惑星大気科学特論I**
平成26年6月30日～7月1日
気象庁予報部数値予報課 予報官 原 旅人






自己紹介


- ・ 経歴
 - 1975年 長野県松本市生まれ
 - 1993年 長野県立松本深志高校卒業
 - 1997年 東京大学理学部物理学科卒業
 - 1999年 東京大学大学院総合文化研究科基礎科学系修士課程修了
 - 2002年 同 博士課程単位取得満期退学
 - ・ 大学院での専攻は素粒子理論(超弦理論とかをやっていました)
 - 2002年 気象庁入庁 本庁観測部観測課観測システム整備運用室航空技術係
 - ・ 航空観測の機器整備などを開発
 - ・ データ分析のためのWindowsプログラム(C++)をたくさん作る(プログラミングを始めたのは入庁してから)
 - ・ 途中からレーダーの仕事にも従事、国土交通省防災情報提供センター統合レーダー合成ソフトの開発を担当
 - ・ 最後には、PC98で動いていた観測システムを置き換えるためのシステムを考案、既存システムのプロトコルを自ら解析して、ソフトウェアを自ら製作
 - 2004年 予報部数値予報課に配置換え
 - ・ 数値予報班メソモデルグループに配属、初めて、数値予報モデル、数値計算をやることになる。
 - ・ 2006年3月のメソモデル高解像度化(水平格子間隔10km→5km)、2007年5月のメソモデル予報時間延長・物理過程改良などに従事
 - 2008年6月～2010年5月 英国気象局派遣(エクセター)
 - ・ 境界層モデルの開発、比較などに従事
 - 2010年6月～ 再び数値予報課でメソモデルに従事
 - ・ 英国での経験から、開発管理のあり方、物理過程の開発(特に現象の理解の重要性、モデルを問わない開発)について庁内で発言
- ・ 専門
 - 気象庁気象シミュレーション、特に物理過程開発



講義の内容

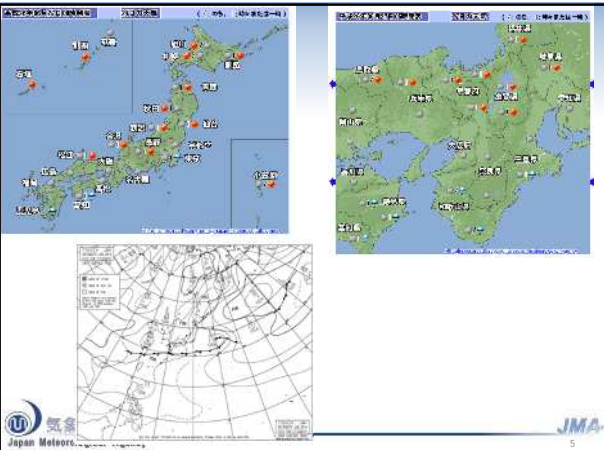
- ・ 数値天気予報概論
- ・ 数値予報モデル概論
 - (応用)高解像度モデルの可能性
- ・ 物理過程の基礎
- ・ 物理過程概論
 - 境界層
 - 雲物理
 - 放射
 - 積雲対流
 - ・ (応用)高解像度モデルの対流の表現をめぐる

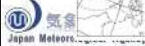




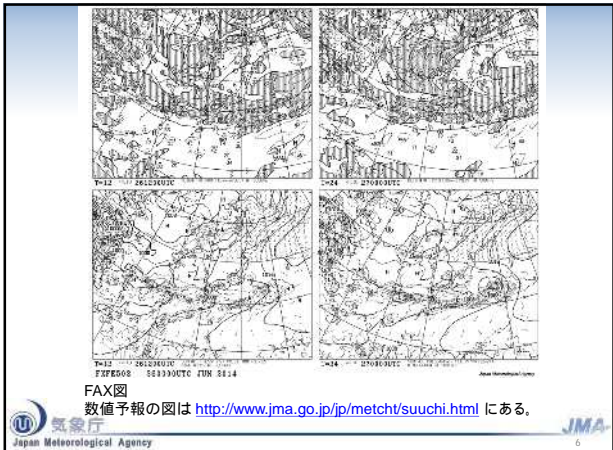




数値天気予報入門

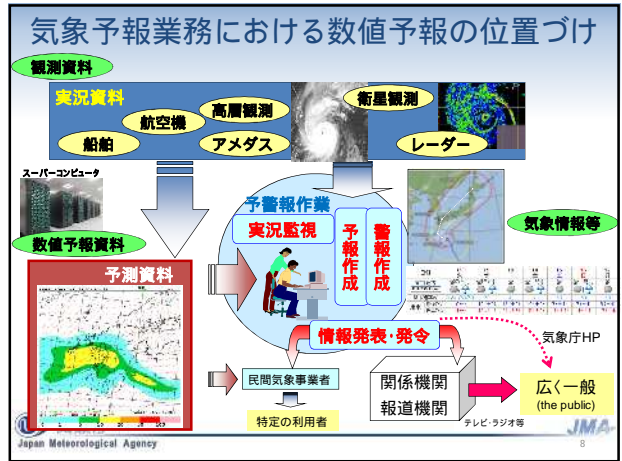









では、数値(天気)予報とは何？

ある特定の時刻の大気状態を数値的に解析し、物理法則に基づいて大気の状態の時間変化を定量的に求める(物理量の時間変化率を未来に向かって足し合わせる)ことにより、将来の大気の状態を予測する手法

例えば、ボールの軌道を予測することを考えます。

- 最初の状態がわかり (ボールを投げる角度と初速度)
- 現象を支配する法則がわかれば (ボールに働く重力と空気抵抗)
- ボールの軌道は予測可能

数値天気予報(以後"数値予報"と呼びます)も原理は同じ。

大気の未来の状態を知りたい

現在の大気の状態(気温、風、湿度など)から、物理法則に基づいて時間変化を追跡したい変数(位置と時間の関数)についての偏微分方程式をたてて、それを解く。

$$\frac{\partial \phi_i(x, t)}{\partial t} = \sum_j F_{i,j} \left(\phi_1(x, t), \frac{\partial \phi_1(x, t)}{\partial x}, \phi_2(x, t), \frac{\partial \phi_2(x, t)}{\partial x}, \dots \right)$$

$\phi_i(x, t)$ = 時間による変化を追跡したい変数(風、温度、水蒸気量など) = 予報変数

$$F_{i,j} \left(\phi_1, \frac{\partial \phi_1}{\partial x}, \phi_2, \frac{\partial \phi_2}{\partial x}, \dots \right)$$

予報変数 ϕ_i の過程 j による時間変化率

いろいろな過程からの時間変化率を求めることが数値予報の重要な一つの仕事

偏微分方程式を解くには

- 解析的には解くことが出来ない
→数値的に解く = 数値予報
- この偏微分方程式は空間・時間についての微分を含む
 - 計算機で扱うには、連続的な空間・時間を離散化する必要がある。
 - 数値予報の変数は離散化した格子内で平均したもの
 - 例)時間方向の離散化
 - 最も簡単なもの

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial t} = F_i \Rightarrow \frac{\phi_i^{t+\Delta t} - \phi_i^t}{\Delta t} = F_i \Leftrightarrow \phi_i^{t+\Delta t} = \phi_i^t + F_i \Delta t$$

(左: 現在の値, 右: 未来の値)

数値予報のねらい

- 予測の客観化、精度向上
 - 低気圧や台風の発生・発達、集中豪雨等による被害が毎年のようにある
- 物理法則に従うことが王道
- 膨大な量のデータ、方程式を高速に取り扱うには、コンピューターの能力を最大限に生かすことが必要

天気予報のニーズと技術的課題

時間スケール	ニーズ(例)	気象庁の主な情報	数値予報モデル
- 1時間	集中豪雨、都市型水害の減災	ナウキャスト(降水・雷・竜巻)	
- 1日	大雨・台風に対する備えや避難	注意報・警報 天気予報	局地モデル、メソモデル
1日~3日	上記のほか、交通の安全・効率的運行 黄砂・スモッグ 太陽光発電、風力発電の量の予測	天気予報	メソモデル、全球モデル、物質輸送モデル
3日~10日	レジャー、農業対策	週間予報、異常天候早期警戒情報	全球モデル、週間アンサンブル予報モデル、台風アンサンブル予報モデル
10日~1か月	産業活動の効率化	異常天候早期警戒情報、季節予報	1か月アンサンブル予報モデル
1か月~	天候の移り変わり、農業対策	季節予報	季節予報モデル(大気モデル、海洋モデル)
10年~	地球温暖化対策 洪水への備え	温暖化予測情報	気候モデル(地球システムモデル)

現業数値予報の歴史

リチャードソンの人力数値予報の夢

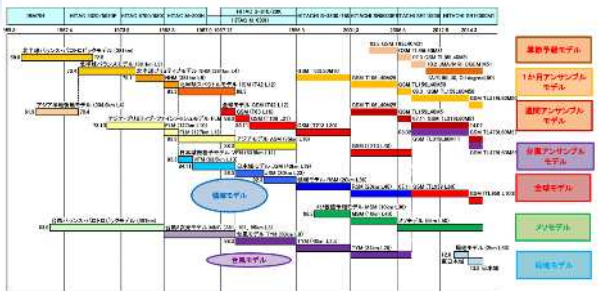


- 1959年、現業数値予報の開始
- 1975年、北半球プリミティブモデルの実用化
- 1988年、全球スペクトルモデルの実用化、物理過程向上により、**予報精度が飛躍的に向上**
- 1996年、全球モデル高解像度(T213L60)化、積雲対流スキームの高度化により**台風進路予報の成績が大幅に向上、1か月予報の数値予報を導入**
- 2001年、週間アンサンブル予報の実用化
- 2003年、3か月予報と季節予報の数値予報を導入
- 2005年、**データ同化手法に4次元変分法を採用、衛星データ利用が進み初期値や予報精度が向上**



数値予報は、気象業務の基盤技術

気象庁の現業数値予報システムの変遷

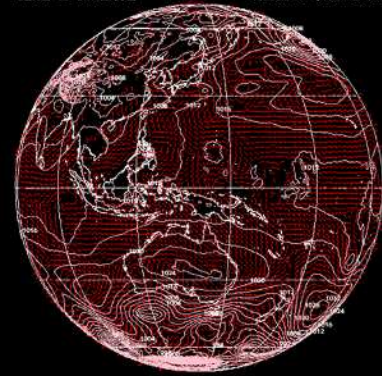


- ・ 精度改善: 高分解能化、精緻化
- ・ 含目的性: 分化
- ・ 効率化: 統合

全球モデル GSM

地上気圧・風・前6時間降水量

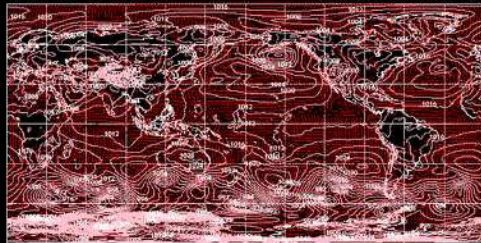
初期時刻 2014年06月26日00UTC
予報時間 0時間
対象時刻 2014年06月26日00UTC



全球モデル GSM

地上気圧・風・前6時間降水量

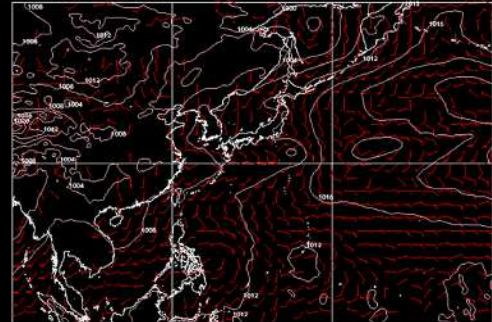
初期時刻 2014年06月26日00UTC
予報時間 0時間
対象時刻 2014年06月26日00UTC

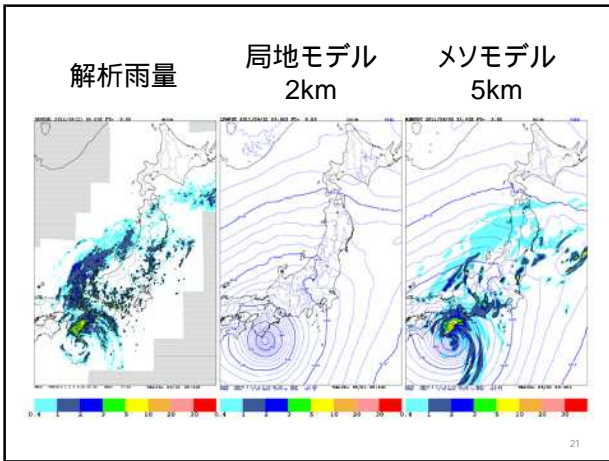
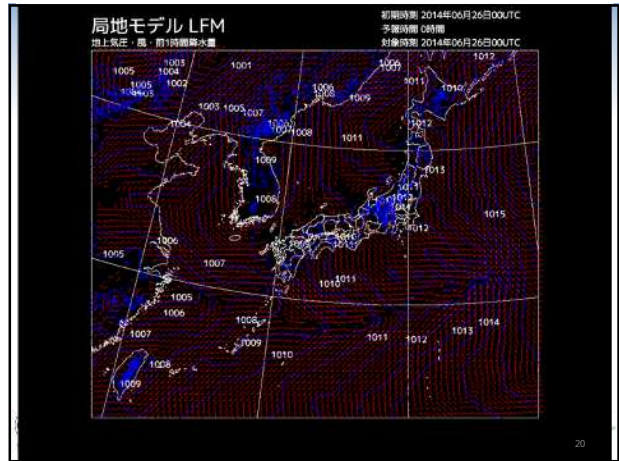
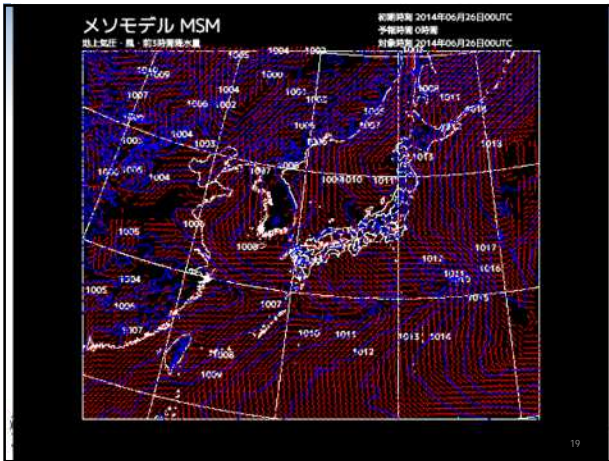


全球モデル GSM

地上気圧・風・前6時間降水量

初期時刻 2014年06月26日00UTC
予報時間 0時間
対象時刻 2014年06月26日00UTC





数値予報の歴史

- 数値予報を開始して、ただちに実用的であったわけではない
- コンピュータの性能向上、気象学の知見の蓄積、数値予報技術の進歩があって、50年以上にわたって徐々に精度向上が達成されてきた
 - 例えば、台風進路予報の精度は1990年頃に持続予報を上回り、予報官の発表予報とほぼ肩を並べるまでに至った

気象庁 Japan Meteorological Agency

リチャードソンの夢

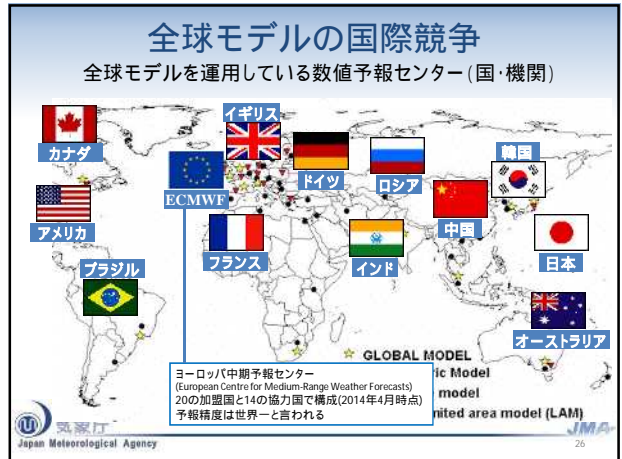
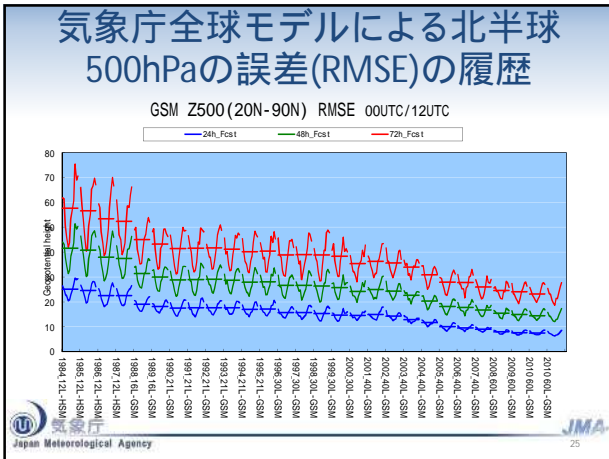
- 地球をカバーするための6万4千箇所のデータ観測点を設置し
- オリンピックコロシアムに6万4千人の計算者を配備し
- 観測点のデータを各計算者に渡し、
- 隣接計算者との間のデータ交換を交えて計算、すなわち予測を行う。
- ところが、この構想は計算量の観点からあまりに無謀で、実現不可能と言われた。

気象庁 Japan Meteorological Agency

数値予報開始50年と計算機

50年前の計算機の数10億倍

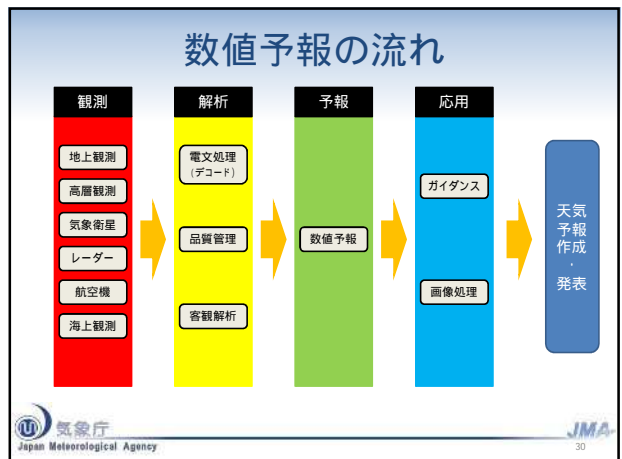
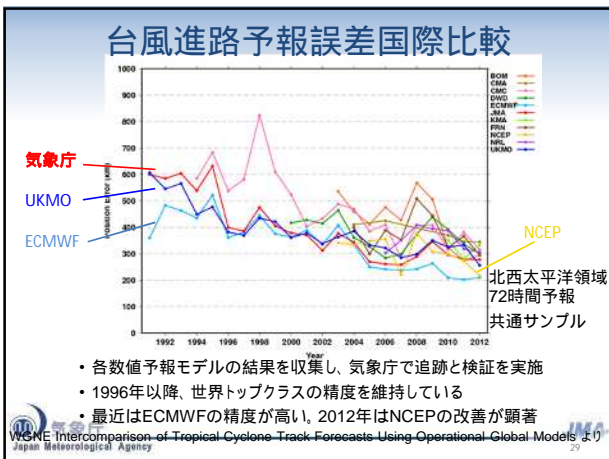
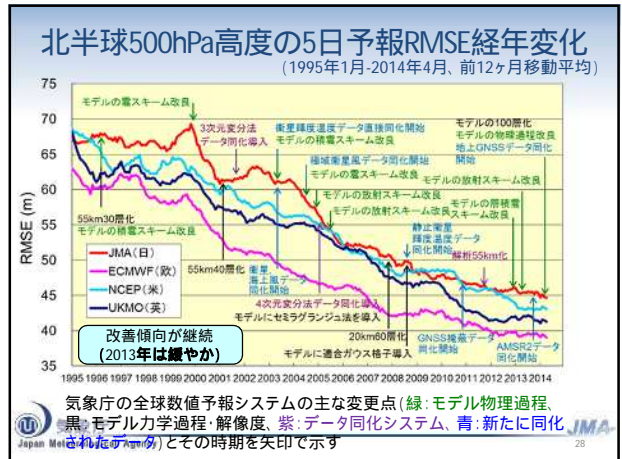
気象庁 Japan Meteorological Agency



世界の数値予報

国名またはセンター名	全球モデル		全球アンサンブル予報モデル		領域モデルの格子間隔・鉛直層数
	格子間隔	予報期間	格子間隔	メンバー数	
日本	20km100層	11日間	40km60層	27x2	11日間 5km50層 2km60層
欧州中期予報センター (ECMWF)	16km137層	10日間	32km91層	51x2	10日間 +5日間 なし
イギリス (Met Office)	25km70層	6日間	33km70層	12x4	3日間 15日間 4.4km70層 1.5km70層
フランス	25km70層	4日間	37km65層	35x2	4日間 2.5km60層
ドイツ	20km60層	7日間		なし	7km40層 2.8km50層
米国 (NCEP)	27km64層 70km64層	8日間 16日間	50km42層 70km42層	21x4	8日間 +8日間 12km60層 4km50層
カナダ	25km80層	10日間	66km74層	20x2	16日間 10km80層 2.5km58層

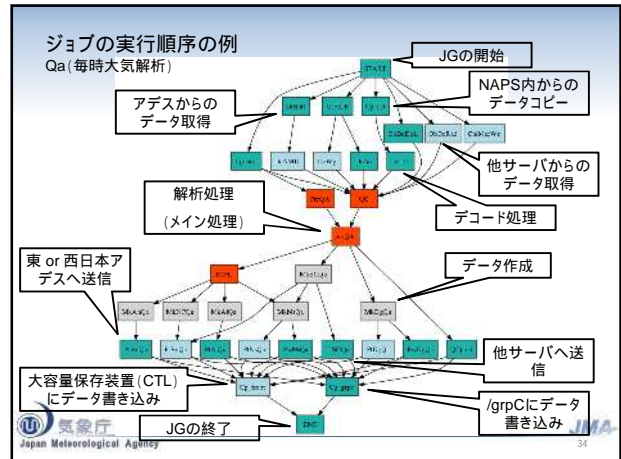
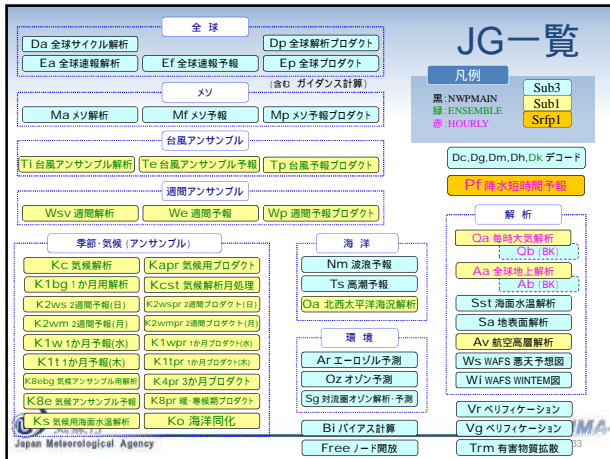
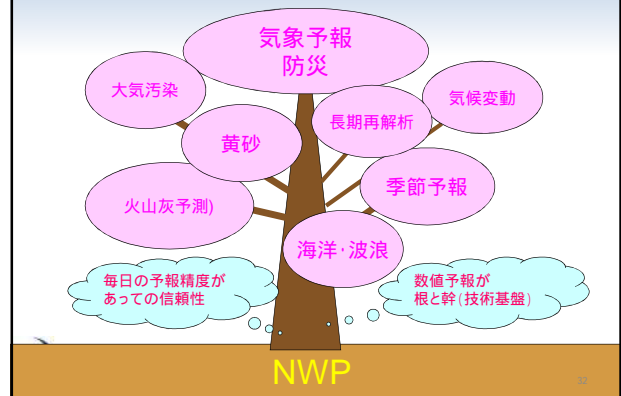
更新日: 2014.04.01



数値予報の顧客とは

- 全国の気象台
- 民間気象事業者
- 地方公共団体等の防災機関
- 国民
- 海外の気象局
- 航空分野 (航空管制、民航等、パイロット等)
- 海上交通分野 (外洋、沿岸)
- 防衛分野 (航空自衛隊を中核として陸上、海上も)
- 防災・水資源管理等
- エネルギー・マネジメント (電力)
- 陸上交通・農業等

数値予報の拡大

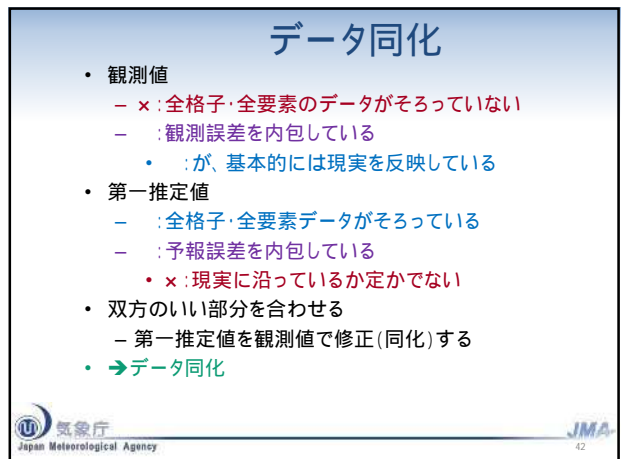
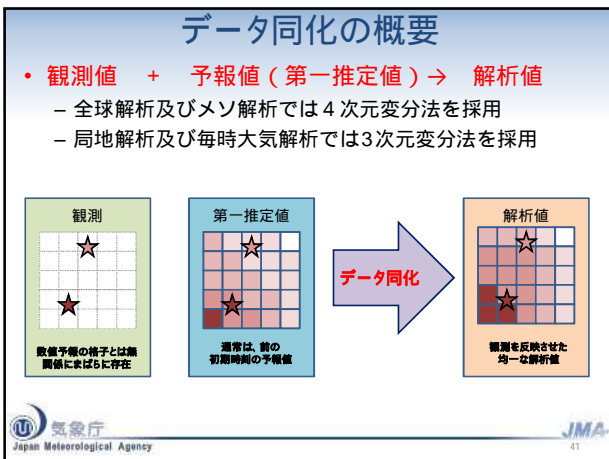
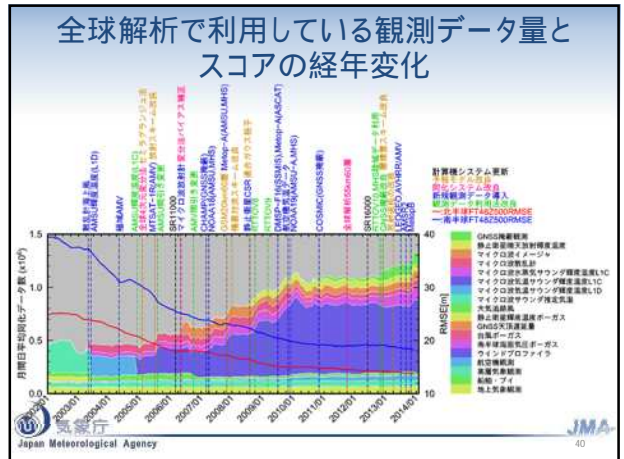
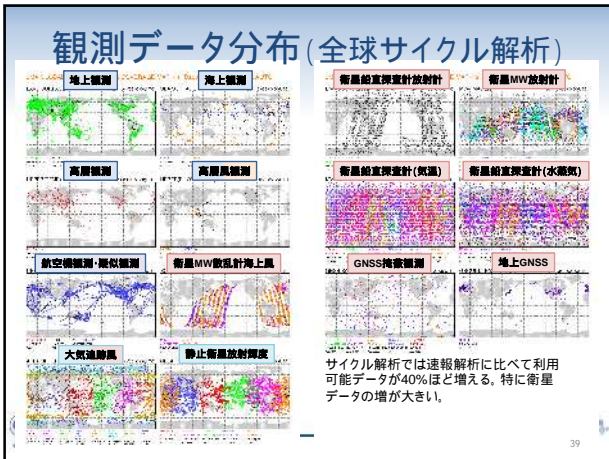
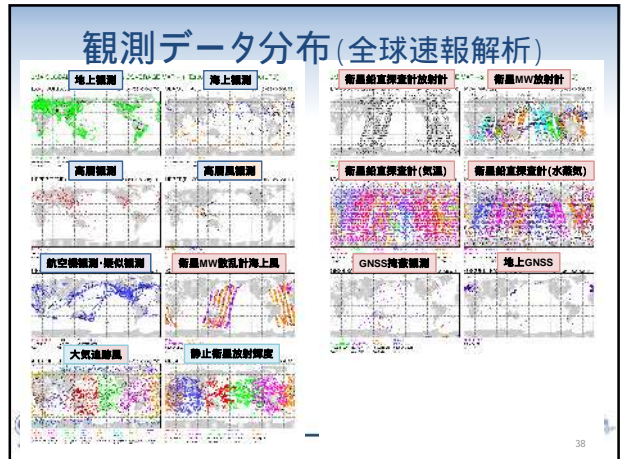


観測とデータ同化



解析(データ同化)とは

- 初期値 (現在の天気の状態) が分からなければ予報はできない
- 初期値を精度よく再現することが予報精度の向上に **決定的に** 重要
- 初期値を作成するには圧倒的に観測データが少なく、地域的に偏在
- そこで、**数値予報を観測データで修正して初期値を作成**
- 正式には「客観解析」あるいは「データ同化」と言う。(最近「データ同化」が一般的)



データ同化とは・・・

最も確からしい推定値を見つけること

情報 = データ + 信頼度 (誤差情報)

気温(°C)

43

修正量の決定 (誤差情報の利用)

- 予報値 (背景値) x_b には誤差 Δx がある
- 観測値 y_o にも誤差 Δy がある
 - 統計情報から誤差の期待値は得られる
 - それらを基に最適な値を探し、得られた値が解析値 x_a

44

昔の手法

「最適内挿法」、「修正法」

「第一推定値」は解析時刻を予報した前回の予報値

解析値が1回の計算で求められる。
ただし、
解析値と要素の異なる観測値は使えない。

適切な係数: 観測点と格子点の距離のみの関数 (修正法)
観測誤差と背景誤差の関係を統計的に考慮 (最適内挿法)

45

最近の方法

- 変分法
 - 「解析値」を一発で求めることはあきらめ、「解析値の候補」を少しずつ変えて最適なものを求めることにする。
 - 「解析値の候補」は「第一推定値」から出発し、繰り返し計算で「評価関数」を小さくする。
 - 評価関数が最小となった時点 (収束したとみなせる時点) で止める。

解析値が1回の計算では求められない。
しかし、
解析値と要素の異なる観測値も使える。

46

変分法

最尤推定ベースのデータ同化手法

さいゆう

- 理論の詳細は後期「データ同化の基礎理論」にて聞いて下さい。ここではざらっと...
- 最尤推定 (Maximum likelihood estimation):
 - 尤度関数 (Likelihood function) を最大化 \leftrightarrow コスト関数を最小化
- 1変数の例:
 - 統計的に誤差 σ_o のある観測値 y_o と、統計的に誤差 σ_b のある予報値 x_b が与えられた場合にそれぞれの真値に対する確率密度は右図のようになる。
形状に注目するため、振幅は適当に調整済み

この場合に真値は、それぞれの確率密度の積である点線の様な尤度分布となり、極値となる位置が最も確率的に高い (尤度が高い) として、これを解析値とする。

予報値の記号に "b" を使う理由:
解析のたたき台となる "背景" 場 (background) だから

47

変分法 (1変数例の続き)

- この例を数式的に表すと尤度関数 P は

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left(-\frac{(x-x_b)^2}{2\sigma_b^2}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_o} \exp\left(-\frac{(x-y_o)^2}{2\sigma_o^2}\right)$$

$$= \frac{1}{2\pi\sigma_b\sigma_o} \exp\left(-\frac{(x-x_b)^2}{2\sigma_b^2} - \frac{(x-y_o)^2}{2\sigma_o^2}\right)$$
- となる (青: 背景項 / 赤: 観測項) これを最大化する x を求める。
 - \rightarrow 指数部を取り出し、符号反転させた関数 J (評価関数)

$$2J(x) = \frac{(x-x_b)^2}{\sigma_b^2} + \frac{(x-y_o)^2}{\sigma_o^2}$$
- を最小化する x を求めればよい。
 - なおこれは一変量、かつ、
 - 予報と観測の物理量が同じ場合

48

変分法 (1変数例の解法)

- 解法
 - 1変数例なら解析的に解けるが(拡張を考慮し)、ここでは繰り返し計算による解法の例を示す
 - 評価関数 J と勾配 dJ を求め、繰り返し計算により解く

$$2J(x) = \frac{(x-x_b)^2}{\sigma_b^2} + \frac{(x-y_o)^2}{\sigma_o^2} \quad dJ(x) = \frac{(x-x_b)}{\sigma_b^2} + \frac{(x-y_o)}{\sigma_o^2}$$

基本的には

- $x=x_b$ からスタートし、 J と dJ を計算
- x に、適当な δ をかけた dJ を加えて再計算
- dJ が十分小さくなれば終了

$x_b = 2; \sigma_b = 1.5$
 $y_o = 4; \sigma_o = 1.0$

$\delta = -0.5$ 固定の例

$\delta = -1$ 固定の例

x	J	dJ	x	J	dJ
2.0000	2.0000	-2.0000	2.0000	2.0000	-2.0000
3.0000	0.7222	-0.8556	4.0000	0.8889	0.8889
3.2778	0.6238	-0.1543	3.1111	0.6664	-0.3951
3.3549	0.6160	-0.0429	3.5082	0.6281	0.1756
3.3784	0.6154	-0.0119	3.3308	0.6175	-0.0790
3.3823	0.6154	-0.0083	3.4088	0.6159	0.0347
3.3840	0.6154	-0.0069	3.3739	0.6155	-0.0154
3.3844	0.6154	-0.0063	3.3894	0.6154	0.0089

変分法 (多変量への拡張)

- これを多変量に拡張すると共に、予報値と観測値が一致しない場合を考えると以下ようになる

$$2J(x) = (x-x_b)^T B^{-1} (x-x_b) + (H(x)-y_o)^T R^{-1} (H(x)-y_o)$$

- x_b はモデル格子点全格子全要素の予報値の集合、
 - なので、膨大な要素数
- B は背景誤差共分散行列
 - 各格子の誤差だけでなく、周囲との関係(共分散)も考える必要がある
- H はモデル格子点値から観測相当量を算出する観測演算子、
 - 簡単なもの(単純内挿)から、複雑なもの(放射伝達計算)まで
- y_o は全ての観測の集合、
 - これも膨大、だが、 x に比べれば小さい
- R は観測誤差共分散行列
 - 観測同士が相関を持っていることは少ないので基本的に対角行列で扱う

3次元変分法と4次元変分法

- 3次元変分法: 時間の変化を考慮しない
 - 観測値は解析時刻に得られたものと仮定して比較する
- 4次元変分法: 時間の変化を考慮する
 - 同化期間、モデル M で時間発展させた値と比較する
 - これだけの場合: FGAT (First Guess at Appropriate Time) という手法
 - 差の還元はアジョイントモデル(接線モデルの転置)で行う

4次元変分法データ同化

- 第一推定値を観測値で修正して(双方のいい部分を合わせて)最適な解析値(初期値)を作成。この技法を「データ同化」と呼ぶ。
- 数値予報モデルの時間発展を解析に利用「4次元変分法」
 - 力学的バランスに優れた解析値が得られる
 - 非定時の観測データを同化できる

GSM, MSMの実際の運用 (解析予報サイクル)

全球解析には、予報のためになるべく早く実行する速報解析と、解析精度維持のためになるべくたくさんの観測データの入電を待って実行するサイクル解析との2種類があり、2つを組み合わせてここで即時性と精度の両立を図っている。

データ入電待ち時間

- 全球サイクル解析:
 - 11時間50分(00,12UTC)
 - 7時間50分(06,18UTC)
- 全球速報解析: 2時間20分
- メソ解析: 50分

緑: 全球モデル (含 全球速報解析)

黄: 全球サイクル解析

赤: メソモデル

□: 解析

→: 予報



数値予報モデル

現在の大気の状態(気温、風、湿度など)から、物理法則に基づいて数値計算を行い、未来の大気の状態を予測する

- 力学過程**
主に力学(大規模な大気の流れ)を扱う「数値予報の骨格」
 - 移流、コリオリ力、気圧傾度力、収束発散
- 物理過程**
力学以外、方程式系の時間変化率のうち非断熱加熱・加湿項
 - 放射、雲水、積雲、乱流、陸面、重力波
 - 複雑で未解明な要素を含む

大気を記述する方程式

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F \Rightarrow \phi_{t+\Delta t} = \phi_t + F_t \Delta t$$

時間変化率 未来の値 現在の値

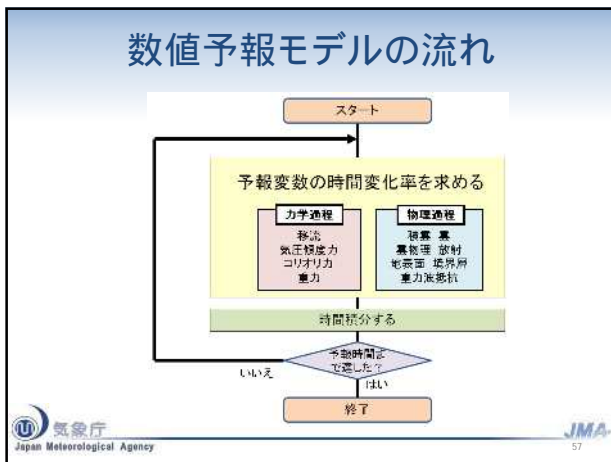
JMA Japan Meteorological Agency 55

大気の基本方程式

水平方向の運動方程式	水平速度の時間変化 = 移流の効果 + コリオリの効果 + 水平の気圧傾度力 + 外力
鉛直方向の運動方程式 (非静力学モデル)	鉛直速度の時間変化 = 移流の効果 + コリオリの効果 + 鉛直の気圧傾度力 + 重力 + 外力
静力学平衡の式 (静力学モデル)	0 = 鉛直の気圧傾度力 + 重力
連続の式 (質量保存の式)	密度の時間変化 = 移流の効果 + 収束・発散の効果
熱力学方程式	温度の時間変化 = 移流の効果 + 断熱圧縮・膨脹による変化 + 非断熱加熱
水蒸気の予測式	比湿の時間変化 = 移流の効果 + 相変化に伴う加湿

その他に状態方程式、等色々

JMA Japan Meteorological Agency 56



力学過程 - 定式化 -

大気中の波はいらる

空間・時間スケール

大 ← → 小

ロスビー波

傾圧不安定波(温帯低気圧)

内部重力波

赤道波(赤道ロスビー波、ケルビン波、混合重力ロスビー波)

どの波(または擾乱)を解きたいか明確にする必要 → 精度良く安定に解くために数値計算法が駆使される。

JMA Japan Meteorological Agency 58

物理過程

- 雲
- 雲物理
 - ✓ グリッドスケール
- 積雲対流
 - ✓ サブグリッドスケール
- 境界層
 - ✓ 大気をかきまぜる効果
- 放射
 - ✓ 長波・短波
- 地表面・陸面過程
 - ✓ 地中温度・土壌水分

力学過程で表現できない現象をモデルに近似的に表現する

JMA Japan Meteorological Agency 59

物理過程のパラメタリゼーション

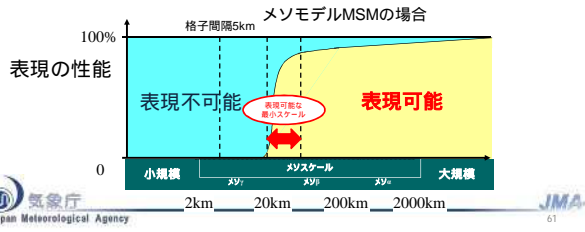
- 予報変数: モデルの格子点における**平均値**
- 雲や水の相変化など、現実大気物理過程は複雑
 - グリッドスケールより小さな現象(サブグリッドスケールの現象)は**モデルで陽に表現できない**
 - サブグリッドスケールの現象がモデルの大気に及ぼす効果を、格子点の物理量で評価 → **パラメタリゼーション**
- 予報精度を高めるには極めて重要**

コントロール: コンピュータの性能向上、モデルの改良、観測データの活用

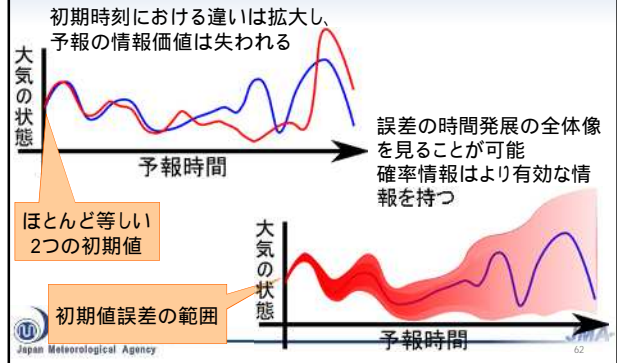
JMA Japan Meteorological Agency 60

モデルの分解能と現象の予測可能性

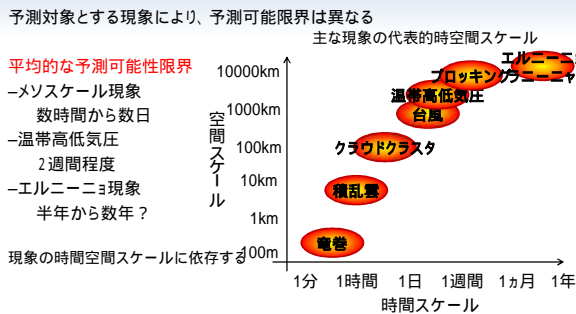
- モデルの分解能以下の現象は、そもそも表現不可能
- 現象を「波」として表現するためには、分解能の5～8倍程度以上のスケールが必要
- その中間スケールは、表現は可能であるが予測可能性は低い(「表現可能」がそのまま「予測可能」ではない)



誤差の成長の模式図 1つの予報と確率予報



大気現象の予測可能性



数値予報の不確実性の源

- 大気の振る舞いは時間方向、空間方向の偏微分方程式で記述されるので、解く方程式とその数値解法(モデル)、初期条件、境界条件が必要である。

初期条件: 真の初期値を知ることはできない

境界条件: 真の境界値を知ることはできない

モデル: 自然を完璧に記述する方程式を知ることにはできない。あったとしても有限の格子・時間間隔で離散化することに伴って誤差が生じる。パラメタリゼーションには大きな不確実性を伴う。

相空間

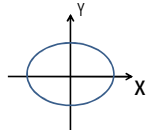
モデルの扱う変数の数(自由度)をNとすると、このN個の変数を座標とするN次元の空間を「相空間」と呼ぶ
この相空間上では、「ある状態」=「1つの点」であり、「時間変化」=「一本の軌跡」である。

例: 単振動

質点の位置をx、速度をyとすると、単振動は相空間上で楕円軌道をとる

$$\frac{dx}{dt} = y$$

$$\frac{dy}{dt} = -\omega^2 x$$



数値予報モデルはN M(格子数) × K(予報変数)の変数を扱う

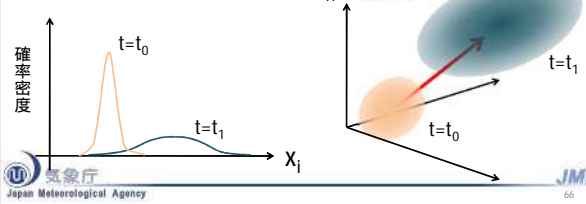
現状ではだいたい110⁵～10⁶

相空間上の確率密度関数

確率密度関数 $\rho(x,t)$: N次元 相空間上の関数

ある状態を $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ | x_i : 各格子点の気象要素
としたとき、時刻tにおいて

$$(\text{状態の集合Aが実現する確率}) = \int_A dx \rho(x,t)$$



決定論的・確率論的な予報

決定論的予報

- 1つの初期値から、1つの時間発展を予報

$$\frac{dx}{dt} = F(x, t) \quad x = x(t): \text{予報変数の集合, } F: \text{予報モデル}$$

確率論的予報

- 初期値の確率分布から、確率密度関数の時間発展を予報

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho(x, t) F(x, t)) + D[\rho(x, t)] = 0$$

確率密度関数
モデルの不完全性に
起因する項
Fokker-Planck equation



67

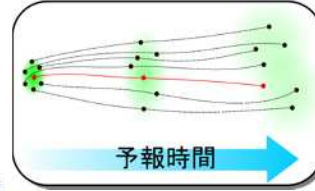
アンサンブル予報

確率密度関数 (PDF)

- 大自由度な相空間で定義される関数

数値的にも計算できない!

粒子で確率密度関数を推定する



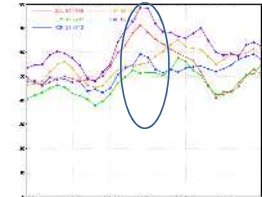
この例では
7個の予報で
確率密度関数を
近似的に予報



68

予報誤差の変動

北半球500hPa高度5日予報の平方根二乗平均誤差(m, 前後2日移動平均)



予報誤差はいつも一定ではなく、日によって変動する。平均的な予報誤差が、いつも指標となるわけではない。

JMAの予報誤差の悪い日は他の数値予報センターの予報誤差も悪くなる時がある。

モデルが悪いから、というわけでは必ずしもない。大気は場によって、誤差が広がりやすいとき、そうでないときがある。



確率密度関数の広がり方は、場に依存して変化する。

69

流れによって変動する誤差成長の簡単な例 Lorenz(1963)モデル

初期値を(x,y,z)=(0,1,0)であたえ、その周辺にランダムな摂動を与える。解の軌道の振る舞いを見る

$\Delta t = 0.01$

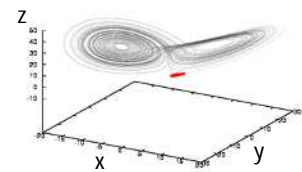
$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial t} &= -\sigma X + \sigma Y \\ \frac{\partial Y}{\partial t} &= -XZ + rX - Y \\ \frac{\partial Z}{\partial t} &= XY - \beta Z \end{aligned}$$

$\sigma = 10$

$r = 28$

$\beta = 8/3$

非線形項



解はあまりばつつかない。



70

台風予報への応用

GSMでは予測できなかった進路を

台風アンサンブルで捕捉した例



予報期間内に台風の中心が120km以内を通過する確率を示した図。台風が通過する可能性のある場所やその確率を可視化した応用例



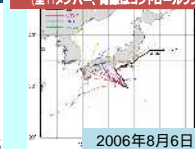
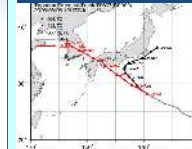
71

台風進路予報

全球モデル(GSM)による予報

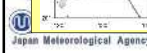
台風アンサンブル予報 (全11メンバー、青線はコントロールラン)

アンサンブルメンバーの予報は、予報の不確実性に応じてばらつきが変わる。



2006年8月6日12UTC初期値 台風第9号

2004年8月28日12UTC初期値 台風第16号



72

庁内、国内、世界との連携

